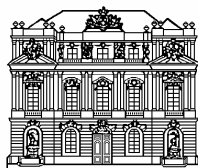


ALPENFORSCHUNG  
IM AUFTRAG DER ÖSTERREICHISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN



FORSCHUNGSPROJEKT:  
**EMISSIONSGESTEUERTER VERKEHR ÜBER DIE ALPEN**

**ALP-EMIV**

## **ENDBERICHT**

des theoretisch wissenschaftlichen Teiles

# **5 Verkehrliche Emissionen in ökologisch sensiblen Gebieten**

### **Projektwerber und Projektleitung:**

INSTITUT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (ISV)  
Technische Universität Graz  
Rechbauerstraße 12/II, A-8010 Graz

Projektleiter: Univ.-Prof. Dr.techn. Werner GOBIET

### **Projektpartner:**

INSTITUT FÜR ZIVILRECHT (IZR)  
Universität Innsbruck

HERRY CONSULT GMBH

Em. Univ.-Prof. Dr. Peter FALLER

### **VERFASSER: FORSCHUNGSGRUPPE Alp-Emiv**

Univ.-Prof.Dr.techn. Werner **GOBIET** (ISV, Projektleiter)

Em.Univ.-Prof.Dr. Peter **FALLER**

Dr.techn. Markus **FREWEIN** (ISV, Projektmanagement)

Ass.-Prof. Mag. Dr. Peter **JORDAN** (IZR)

Dr. Max **HERRY** (Herry Consult GmbH)

unter Mitarbeit von

Martin **VILHAR** (ISV)

ISBN-10 3-7001-3778-8

ISBN-13 978-3-7001-3778-8

doi: 10.1553/alp-emiv

<http://epub.oeaw.ac.at/alp-emiv>

Graz, im Juni 2006

## 5 Verkehrliche Emissionen in ökologisch sensiblen Gebieten

### 5.1 Grundlagen und Grundfragen zu verkehrsbedingten Emissionen

In diesem Kapitel werden aus den vorhandenen Aufzeichnungen, wie z.B. Luftschadstoff-Trends 1980-2002 des Umweltbundesamtes (*UBA 2004*), und gemäß der rechtlichen Grundlagen vorgenommenen Berichterstattungen, wie z.B. der Statuserhebung nach dem IG-Luft der Tiroler Landesregierung (*Weber et al. 2004*), die für das Forschungsprojekt notwendigen Grundlagen und Grundfragen verkehrsbedingter Emissionen analysiert und für die weitere Be- und Verarbeitung vorbereitet. Es gilt zu beachten, dass in die internationalen Berichtspflichten stets nur anthropogene (vom Menschen verursachte) Emissionen inkludiert werden. Die nicht anthropogenen Emissionen (natürliche Emissionen) sind nicht Teil der internationalen Berichtspflichten und somit auch nicht in dieser Studie berücksichtigt.

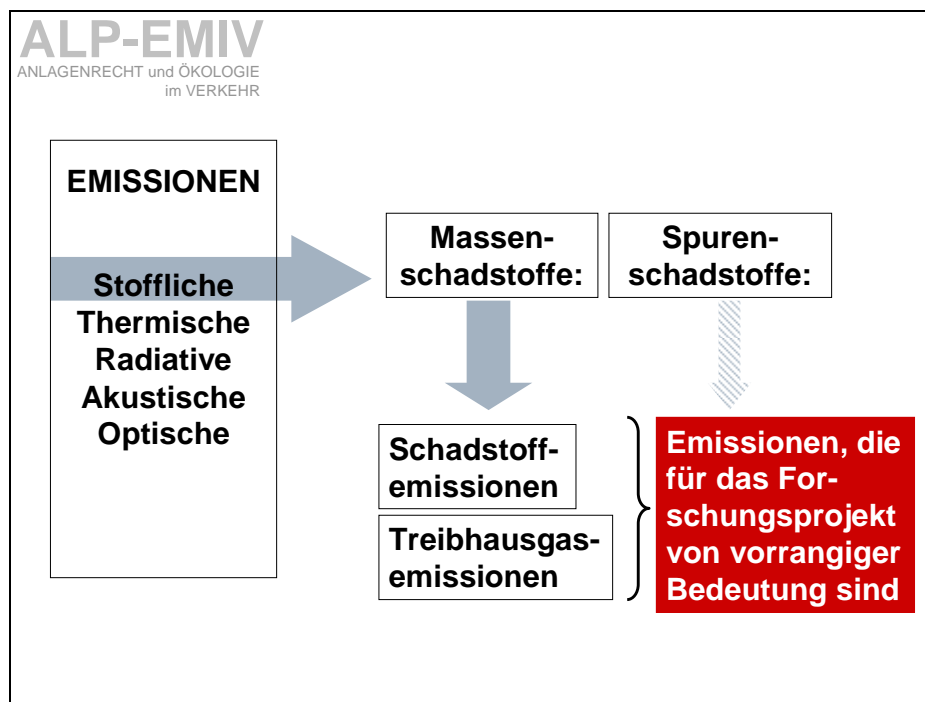


Abbildung 7: Ableitung der für das Forschungsprojekt vorrangigen Emissionengruppen

Bei den Emissionen wird unterschieden nach stofflichen, thermischen, radiativen, akustischen und optischen Emissionen (vgl. Abbildung 7). Für die Schwerpunktbetrachtungen im Forschungsprojekt sind in erster Linie die stofflichen Emissionen (vor allem für die Modellierung der Immissionswirksamkeit der Emissionen und für den Emissionsrechtehandel) von Interesse und werden nachfolgend aus-

führlisch dargestellt. Bei den stofflichen Emissionen unterscheidet man zwischen Massenschadstoffen, wie z.B. den Schadstoffemissionen Stickstoffoxid NO<sub>x</sub> (als Summe von Stickstoffmonoxid NO und Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>) oder Schwefeldioxid SO<sub>2</sub>, und den Treibhausgasemissionen, wie z.B. Kohlendioxid CO<sub>2</sub> und Methan CH<sub>4</sub>. Als Spurenschadstoffe werden polyzyklische Kohlenwasserstoffe PAH oder Blei Pb bezeichnet<sup>34</sup>.

### 5.1.1 Gesetzliche Grundlagen zur Luftreinhaltung

In einer Vielzahl von EU-Richtlinien und nationalen Gesetzen sind Grenz-, Alarm- und Richtwerte für verschiedene Luftschadstoffe geregelt (vgl. Anhang Tabelle 18). Für Österreich ist das grundlegende Gesetz das Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L, BGBl. I Nr. 115/1997 in der Fassung BGBl. I Nr. 34/2003), welches Grundsätze zum Schutz des Menschen und der Umwelt vor Belastungen durch Luftschadstoffe enthält.

Die Ziele des IG-Luft sind:

- 1) *der dauerhafte Schutz der Gesundheit des Menschen, des Tier- und Pflanzenbestandes, ihrer Lebensgemeinschaften, Lebensräume und deren Wechselbeziehungen sowie der Kultur- und Sachgüter vor schädlichen Luftschadstoffen sowie der Schutz des Menschen vor unzumutbar belästigenden Luftschadstoffen,*
- 2) *die vorsorgliche Verringerung der Immission von Luftschadstoffen und*
- 3) *die Bewahrung der besten mit nachhaltiger Entwicklung verträglichen Luftqualität in Gebieten, die bessere Werte für die Luftqualität aufweisen als die in den Anlagen 1, 2 und 5 oder in einer Verordnung gemäß § 3 Abs. 3 genannten Immissionsgrenz- oder Zielwerte. (Anmerkung: die Anlagen des Bundesgesetzes enthalten neben den allgemeinen Bestimmungen die nach einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen festgelegten Immissionsgrenzwerte (Konzentration und Deposition))*

Zur Erreichung dieser Ziele wird ein Instrumentarium, insbesondere zur vorsorglichen Verringerung der Immission von Luftschadstoffen und für gebietsbezogene Maßnahmen, zur Verringerung der durch Menschen beeinflussten (anthropogenen) Emission und der Immission von Luftschadstoffen geschaffen<sup>35</sup>.

---

<sup>34</sup> Detaillierte Aussagen zu den Wirkungen der Schadstoffe finden sich im Endbericht des ersten Jahres vom Oktober 2005 (FG Alp-EmiV 2005)

<sup>35</sup> Nach dem IG-Luft (vgl. §§ 14 und 22) können zur Verringerung der verkehrlichen Immissionsbelastungen Maßnahmen ergriffen werden. Eine Quantifizierung der problemadäquaten Wirkung der Maßnahmen ist allerdings nicht vorgesehen. Eine ausführliche Diskussion dieser Problematik findet sich in Frewein (2005, S. 53ff).

## 5.2 Schadstoffe durch Straßengüterverkehr: Quellen und Entwicklung

### 5.2.1 Quellen von Emissionen und wesentliche Emittenten

Sämtliche unerwünschte Wirkungen von Emissionen auf die Umwelt sind offensichtlich gesamtgesellschaftlich gesehen bewusst akzeptierte Effekte, um eine bestimmte räumliche Mobilität bzw. einen bestimmten Grad der Erreichbarkeit zu erhalten bzw. zu gewährleisten.

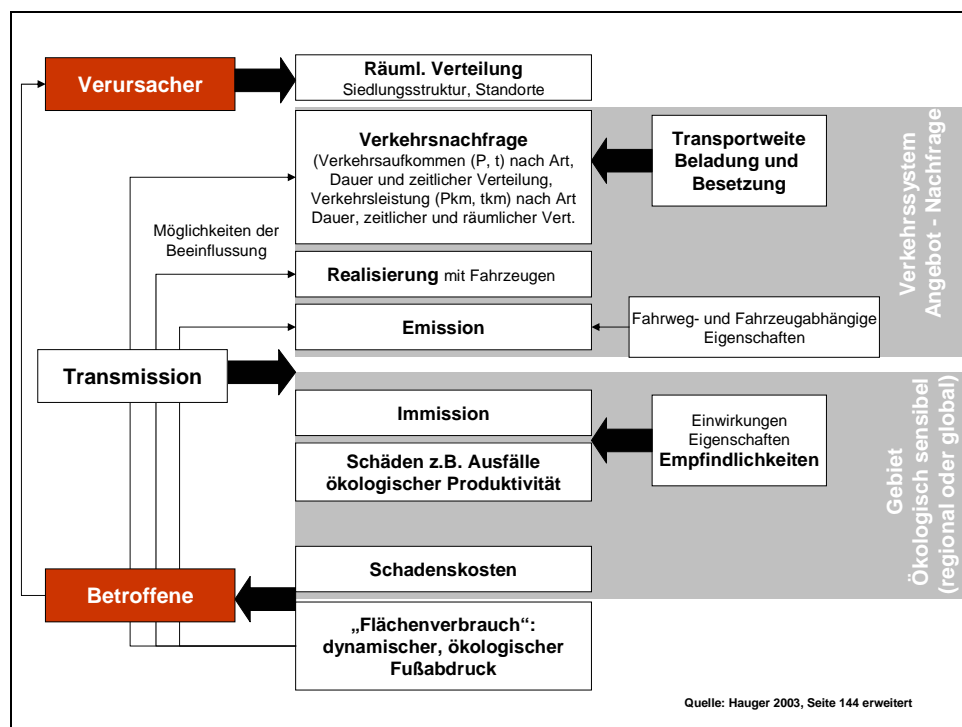


Abbildung 8: Kausalkette verkehrsbedingter Umweltwirkungen (Quelle Hauger 2003, Seite 144, Tabelle 30, erweitert)

Ausgehend von der Siedlungsstruktur (zumeist ist diese dispers) und der realisierten Verkehrsnachfrage wird die Emission über die Transmission zur Immission und es kommt zu den damit verbundenen Schadenskosten und den Ausfällen der ökologischen Produktivität. Die Kausalkette der verkehrsbedingten Umweltwirkungen (Abbildung 8) zeigt im Detail die einzelnen Schritte, der Verursacher kann natürlich auch der Betroffene sein, vor allem wenn es sich um lokal wirksame Schadstoffe handelt. Einen wesentlichen Einfluss auf die Schäden hat auch die Transmission als eine stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängige Determinante bei Bestimmung der Immissionswirksamkeit von Emissionen.

### 5.2.2 Einteilung der Verursacher

Anthropogene Luftverunreinigungen entstehen überwiegend bei thermischen Prozessen. Es dominieren die Verbrennungsprozesse in industriellen Anlagen (vor allem bei Kraftwerken und anderen Großfeuerungsanlagen), in Haushalten (Heizen, Kochen) und beim Verkehr. Wie sich später noch zeigen wird, ist der Verkehr bei einigen Massenschadstoffemissionen bereits der größte Emittent. Als bedeutende anthropogene Emissionsquellen sind folgende zu benennen (Brauer (Hrsg.) 1996, Seite 58):

- Kraftwerke und Heizwerke,
- Abfallverbrennungsanlagen,
- Industrieanlagen,
- Haushaltungen und
- Verkehr, und dabei vor allem der Straßenverkehr.

In Tabelle 6 sind für die Quellengruppen Lokalisierungstyp und Emissionen sowie die Ableitungsbedingungen zusammengefasst. Bei den Lokalisierungstypen werden punktförmige, flächenförmige und linienförmige Typen unterschieden.

**Tabelle 6: Emissionsquellengruppen mit dem Lokalisierungstyp (Quelle: Brauer (Hrsg.) 1996, Seite 58 (Tabelle 2.1) erweitert)**

LOKALISIERUNGSTYP	QUELLENGRUPPE	EMITTIERTE SUBSTANZEN	ABLEITUNGSBEDINGUNGEN	
			Höhe über Boden (m)	Betriebszeit
Punktquelle	KRAFTWERKE UND FERNHEIZWERKE	CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Staub (mit Spuren an Schwermetallen)	über 100	Ganzjährig (Kraftwerke); Maximum im Winter
	ABFALLVERBRENNUNGSANLAGEN	CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Staub, Cl-Verbindungen (auch Dioxine), F-Verbindungen	meist über 100	ganzjährig
	INDUSTRIEANLAGEN	Unzählige Stoffe, je nach Anlage	meist über 50 (oft erheblich)	ganzjährig
Flächenquelle	HAUSHALTE	Co <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Staub, organisch-chemische Stoffe	ca. 10-30	Überwiegend nur während der Heizperiode
Linienquelle	STRASSENVERKEHR	CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , organisch-chemische Substanzen, Blei	ca. 0,3	ganzjährig

In den Luftschadstoffberichten wird zwischen insgesamt sechs Verursachersektoren unterschieden. In der nachfolgenden Aufzählung sind den einzelnen Verursachersektoren die verschiedenen Emittenten zugeordnet:

- **1. Sektor: Energieversorgung**

Strom- und Fernwärmekraftwerke (inkl. Energetischer Verwertung von Abfall); Raffinerien; Kohle-, Erdgas- und Erdölförderung; flüchtige Emissionen von Treibstoffen

- **2. Sektor: Kleinverbraucher**

Heizungsanlagen privater Haushalte; privater und öffentlicher Dienstleister; Gewerbe und Landwirtschaft; Off Road Geräte für Haushalte, Gewerbe, Dienstleister und Landwirtschaft (inkludiert z.B. landwirtschaftliche Geräte, Traktoren, Kleingeräte wie z.B. Rasenmäher, Motorsägen etc.)

- **3. Sektor: Industrie**

Prozess- und pyrogene Emissionen der Industrie; Off Road Geräte für Industrie (selbstfahrende Baumaschinen etc.)

- **4. Sektor: Verkehr**

Straßenverkehr, Bahnverkehr, Schifffahrt, nationaler Flugverkehr

- **5. Sektor: Landwirtschaft**

Nutztierhaltung, Ackerbau und Grünlandwirtschaft

- **6. Sektor: Sonstige**

Emissionen aus Mülldeponien; Müllverbrennungen ohne energetische Verwertung (ist von verhältnismäßig geringer Bedeutung, da Müllverbrennung zu meist mit Kraft-Wärme-Koppelung verbunden ist und daher größtenteils dem Sektor 1 zugeordnet ist); Lösemittelemissionen

### 5.2.3 Wirkungen der Schadstoffemissionen

Verschiedene Schadstoffe stehen mit unterschiedlichen Auswirkungen auf die Umwelt in Zusammenhang. Die wesentlichen Problembereiche sind hierbei:

- direkte negative Auswirkungen erhöhter Emissionen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt sowie Sach- und Kulturgüter,
- Klimaerwärmung: Treibhauseffekt (verursacht durch die Treibhausgase),
- die Bildung von bodennahem Ozon (aus Ozonvorläufersubstanzen),
- die Deposition von versauernd wirkenden Substanzen,
- die Deposition von überdüngend (eutrophierend) wirkenden Substanzen und

- der Beitrag zur Belastung durch Schwebestaub (entweder durch direkte Staubemissionen oder durch die Emission von Gasen, aus denen in der Atmosphäre Aerosole<sup>36</sup> entstehen können).

Entsprechend dieser Wirkungen sind in Abbildung 9 die stofflichen Schadstoffemissionen in Österreich zusammengefasst und ihre Wirkungsbereiche angegeben.

**ALP-EMIV**  
ANLAGENRECHT und ÖKOLOGIE  
im VERKEHR

*Tabelle 1: In der OLI erfasste Schadstoffe und deren Zuordnung zu verschiedenen Umweltproblemen*

Schadstoffe	Bezeichnung	Direkte Auswirkungen	Treibhauseffekt	Ozonvorläufer-substanzen	Versauerung	Eutrophierung	Schwebestaub
SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> und SO <sub>3</sub> angegeben als SO <sub>2</sub>	X			X		X
NO <sub>x</sub>	Stickstoffoxide (NO und NO <sub>2</sub> ) angegeben als NO <sub>x</sub>	X		X	X	X	X
NM VOC	Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan und ohne Substanzen, die im Montreal Protokoll geregelt werden	X*		X			X
CH <sub>4</sub>	Methan		X	X			
CO	Kohlenmonoxid	X		X			
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid		X				
N <sub>2</sub> O	Distickstoffmonoxid (Lachgas)		X				
NH <sub>3</sub>	Ammoniak	(X)			X	X	X
Cd	Kadmium	X					
Hg	Quecksilber	X					
Pb	Blei	X					
PAH	Polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	X					
Dioxine	Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine (PCDD)	X					
HFC	Wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe		X				
PFC	Perfluorierte Kohlenwasserstoffe		X				
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid		X				
Staub	Staub	X					X
HCB	Hexachlorbenzol	X					

\*: Nur bestimmte Substanzen dieser Gruppe, z.B. Benzol

**Quelle: UBA 2004, Seite 15**

**Abbildung 9: Überblick über die Schadstoffemissionen und deren Wirkung (UBA 2004, Seite 15, Tabelle 1)**

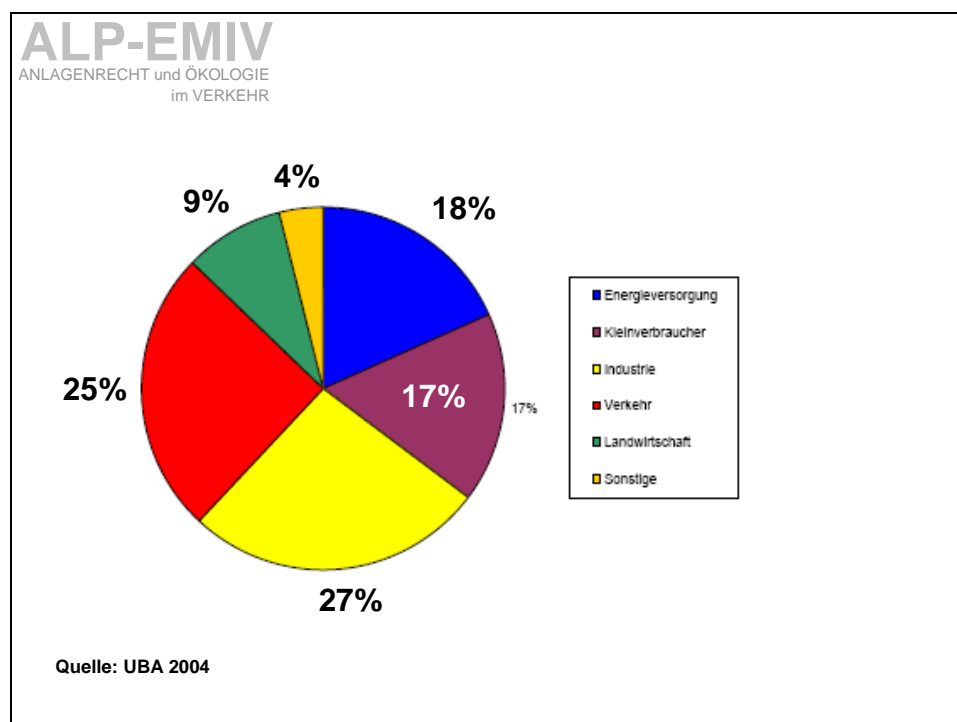
#### 5.2.4 Aufteilung der Schadstoffemissionen auf die Verursacher – Darstellung ausgewählter Schadstoffemissionen

Unterschieden nach den Schadstoffemissionen mit direkten Auswirkungen, Ozonvorläufersubstanzen mit versauernder und eutrophierender Wirkung und Schwebestaub und den Treibhausgasemissionen zeigt sich für das Jahr 2002 bei den Treibhausgasemissionen die in Abbildung 10 dargestellte Situation. Mehr als 50% der Treibhausgasemissionen kamen aus den Sektoren Industrie und Verkehr. Ein gutes Drittel entfällt auf die Sektoren Kleinverbraucher und Energieversorgung und 15% entfallen auf die Sektoren Landwirtschaft und Sonstiges. Bei

<sup>36</sup> Unter Aerosolen versteht man die in der Luft schwebenden festen oder flüssigen Teilchen. Sichtbar wird das Aerosol als Dunst, der die Atmosphäre trübt. Die Konzentration des Aerosols nimmt mit der Höhe stark ab, in 10km Höhe findet man nur noch ein Zehntausendstel des Bodenwertes (UBA 2004, Seite 10).

den Emissionen, die im Sektor Sonstiges erfasst wurden, handelt es sich hauptsächlich um Methanemissionen aus Mülldeponien (UBA 2004, Seite 20).

Für die Versauerung und Eutrophierung lassen sich entsprechend Abbildung 11 folgende Trends feststellen. Kleinverbraucher und Industrie erzielten im Zeitraum von 1990 bis 2002 die größten Reduktionen mit -34% bzw. -31%. Energieversorgung und Landwirtschaft verringerten ebenfalls ihre versauerungsrelevanten Emissionen. Die Emissionen des Sektors Verkehr hingegen sind nach erfolgten Reduktionen bis Mitte der 1990er Jahre im Jahr 2002 wieder auf dem Niveau von 1990 angelangt und zeigen steigende Tendenz.



**Abbildung 10: Anteile der Hauptverursacher an den Treibhausgasemissionen (UBA 2004, Seite 20, Abb. 4)**

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen haben sich um 4% seit 1990 verringert, ihr Anteil an der Gesamtmenge stieg jedoch von 44% auf 54%. Hauptverantwortlich für diese Entwicklung ist der starke Anstieg der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs (UBA 2004, Seite 44).

Die NH<sub>3</sub>-Emissionen sind seit 1990 um 8% verringert worden, der Anteil an den Gesamtemissionen stieg von 32% auf 36%. Als Hauptverursacher gilt die Landwirtschaft mit einem Anteil von rund 96% an den Gesamt NH<sub>3</sub>-Emissionen.



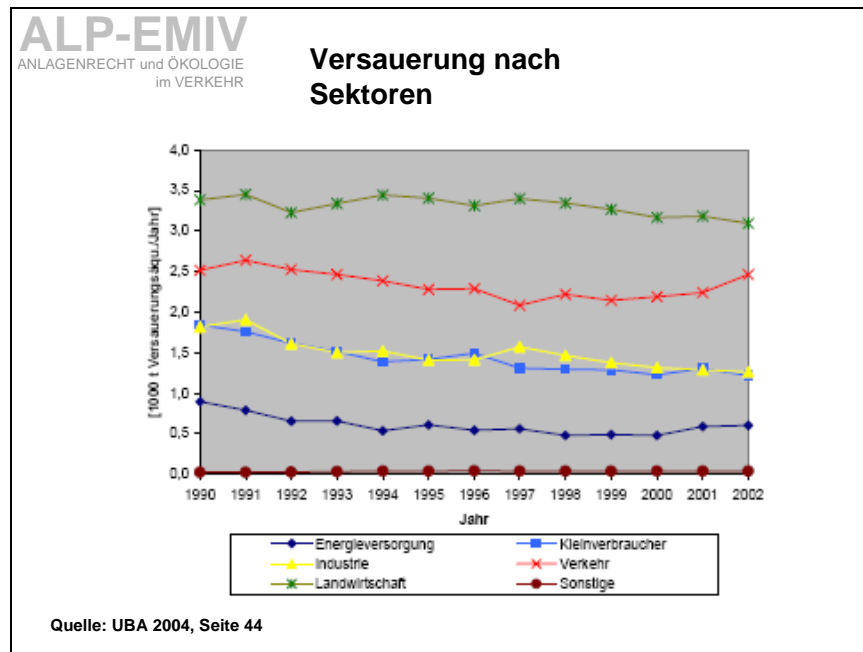
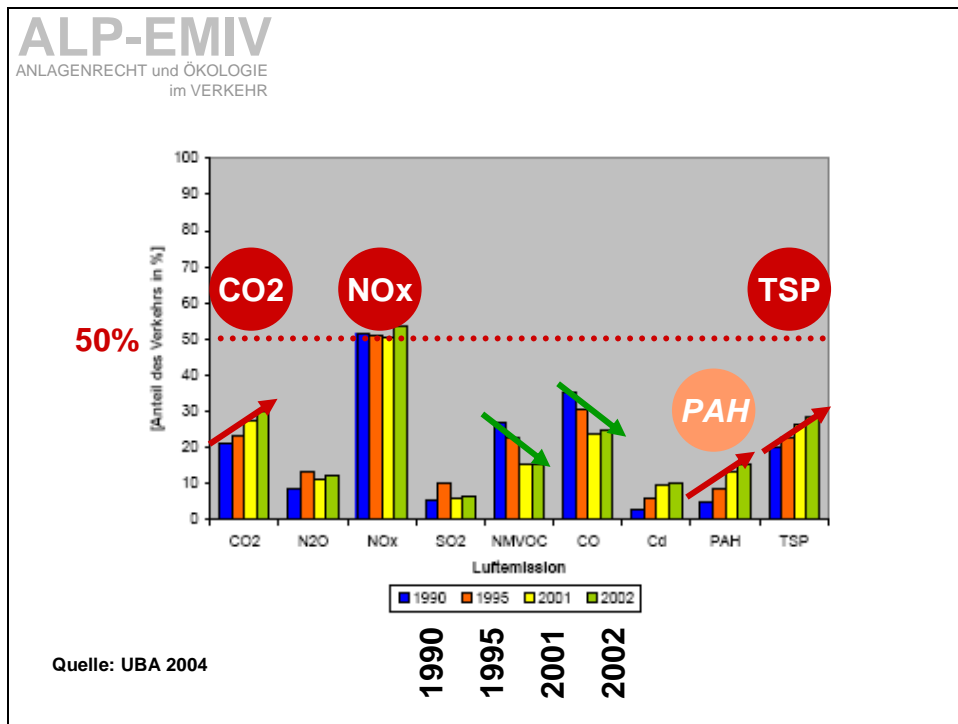


Abbildung 11: Versauerung nach Sektoren (UBA 2004, Seite 43, Abb. 22)

### 5.2.5 Wesentliche Emissionen des Verkehrs – Trends 1990 - 2002

Der Verkehr stellt einen der größten Verursacher von Umweltbeeinträchtigungen in Österreich dar. Der Energieverbrauch, die Schadstoffemissionen, die Lärmemissionen, der Flächenverbrauch, die Oberflächenversiegelung, die Zerschneidungseffekte von Ökosystemen und die negative Auswirkung auf das Landschaftsbild sind maßgebliche verkehrsbedingte Einflussfaktoren.

Durch diese Umwelteinflüsse trägt die realisierte Verkehrsnachfrage maßgeblich zu den Umweltproblemen bei. Der überwiegende Anteil der verkehrsbedingten Emissionen entstammt dem Straßenverkehr (97% bei CO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>) (vgl. UBA 2004, Seite 70).



**Abbildung 12: Anteil der Verkehrsemissionen an den Gesamtemissionen (UBA 2004, Seite 70, Abb. 48, erweitert)**

Abbildung 12 zeigt für acht Schadstoffemissionen den Anteil des Sektors Verkehr an den österreichischen Gesamtemissionen für die Jahre 1990, 1995, 2001 und 2002 dargestellt.

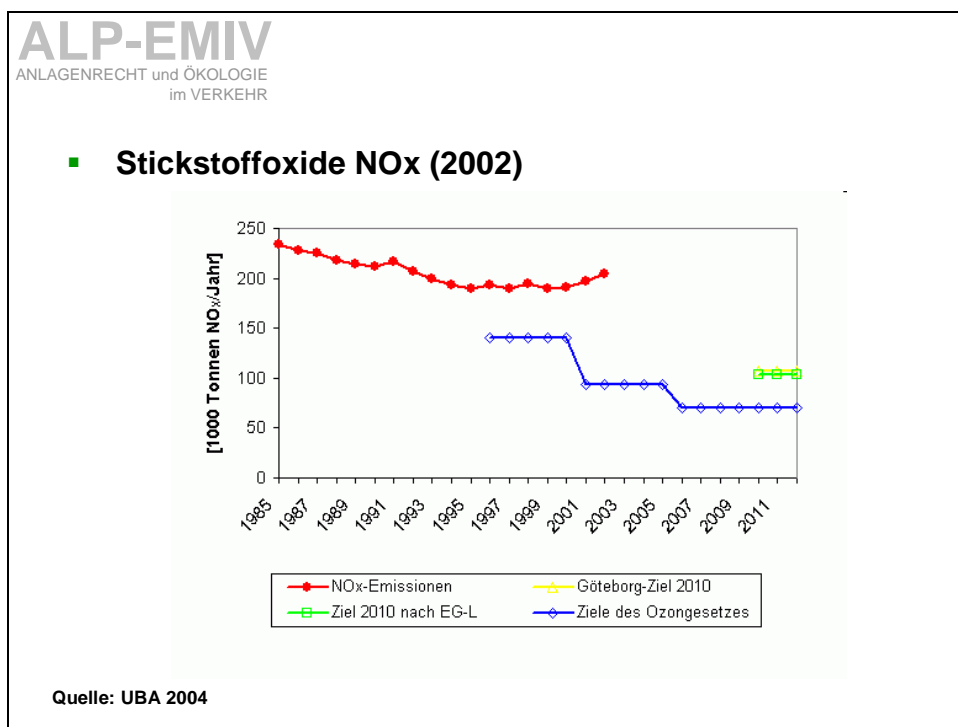
Bezogen auf das Jahr 1990 konnten der sektorale Anteil bei NMVOC und CO gesenkt werden. Dennoch emittiert der Sektor Verkehr etwa 15% der NMVOC-Emissionen, was aufgrund der Wirkung als Ozonvorläufer problematisch ist. Der Anteil von CO liegt bei 25%, was allerdings weniger kritisch einzustufen ist, da von diesem Schadstoff ein geringeres Gefahrenpotenzial ausgeht (vgl. UBA 2004, Seite 70).

Die vier Emissionsgruppen NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, PAH und TSP mit deutlich steigender Tendenz werden nachfolgend im Detail diskutiert.

#### 5.2.5.1 Schadstoffemissionen NO<sub>x</sub>

Mit 54% Anteil an den Gesamtemissionen des Stickstoffoxides NO<sub>x</sub> ist der Verkehr mit Abstand der größte Emittent. Die Stickstoffoxide NO<sub>x</sub> umfassen das Stickstoffmonoxid NO und das Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>. Für den Menschen ist besonders das NO<sub>2</sub> durch die Beeinträchtigung der Lungenfunktion schädlich. Stickstoffoxide wirken auch als Ozonvorläufersubstanzen und sind so im Sommer wesentlich an der Bildung von bodennahem Ozon beteiligt.

Stickoxide sind außerdem mitverantwortlich für die Versauerung und Eutrophierung (Überdüngung) von Böden und Gewässern. In der kalten Jahreszeit entsteht aus gasförmigen Stickoxiden und Ammoniak partikelförmiges Ammoniumnitrat. Dieses trägt zu einer großräumigen Belastung durch Feinstaub (PM 10) bei (UBA, 2005).



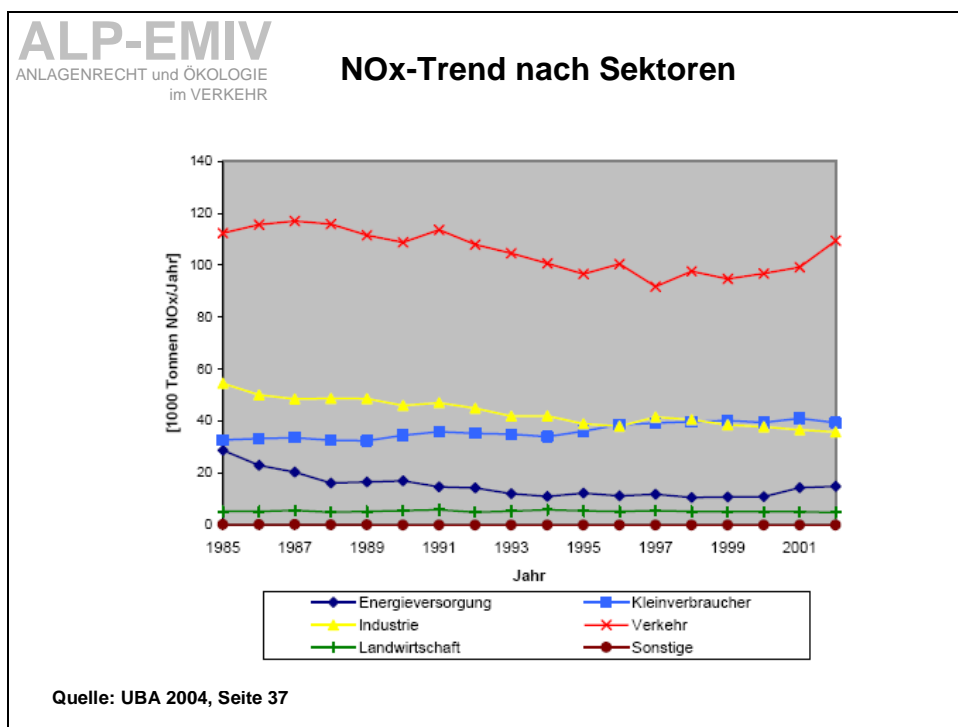
**Abbildung 13: NO<sub>x</sub>-Trend 1985 bis 2002 und Zielwerte (UBA 2004, Seite 36, Abb. 15)**

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen sind in Österreich seit 1985 zwar um 15% gesunken, der sich derzeit abzeichnende Trend ist aber zu den normativ festgelegten Zielvorstellungen gegenläufig (vgl. Abbildung 13). Sehen die Zielvorstellungen des Ozongesetzes eine stufenweise Reduktion bis zum Jahr 2006 auf 30% des Wertes von 1985 vor, das sind rund 70.000 Tonnen, liegt das Niveau der Emissionen mit rund 204.000 Tonnen im Jahr 2002 deutlich über den nach dem Ozongesetz vorgegebenen 94.000 Tonnen (vgl. UBA 2004, Seite 36f).

Selbst die höher veranschlagten Zielvorstellungen nach Göteborg mit max. 107.000 Tonnen und die nach dem EG-L max. 103.000 Tonnen zeichnen sich nach dem derzeitigen Trend nicht als im vorgegebenen Zeitplan bis 2010 als erreichbar ab.

Hauptverursacher von NO<sub>x</sub>-Emissionen ist der Verkehr (vgl. Abbildung 14). Dieser Sektor ist auch der einzige, in dem ein deutlicher Anstieg seit 1997 beobachtet werden kann. Die Einführung des Katalysators für Benzin betriebene PKW bewirkte Ende der 1980er Jahre eine deutliche Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen. Die Tendenz ist seit 1997 wieder steigend, da es zu einer Zunahme der Ver-

kehrleistung kam und der Trend zu schweren Nutzfahrzeugen, der die Einsparung gemessen an den Emissionen pro verbrauchtem Treibstoff durch höhere Verbräuche wieder aufwiegt, anhält. Ein weiter verstärkender Faktor ist der vermehrte Einsatz von Dieselfahrzeugen. Benzinfahrzeuge haben im Vergleich zu Dieselfahrzeugen wesentlich effizientere Katalysatoren.

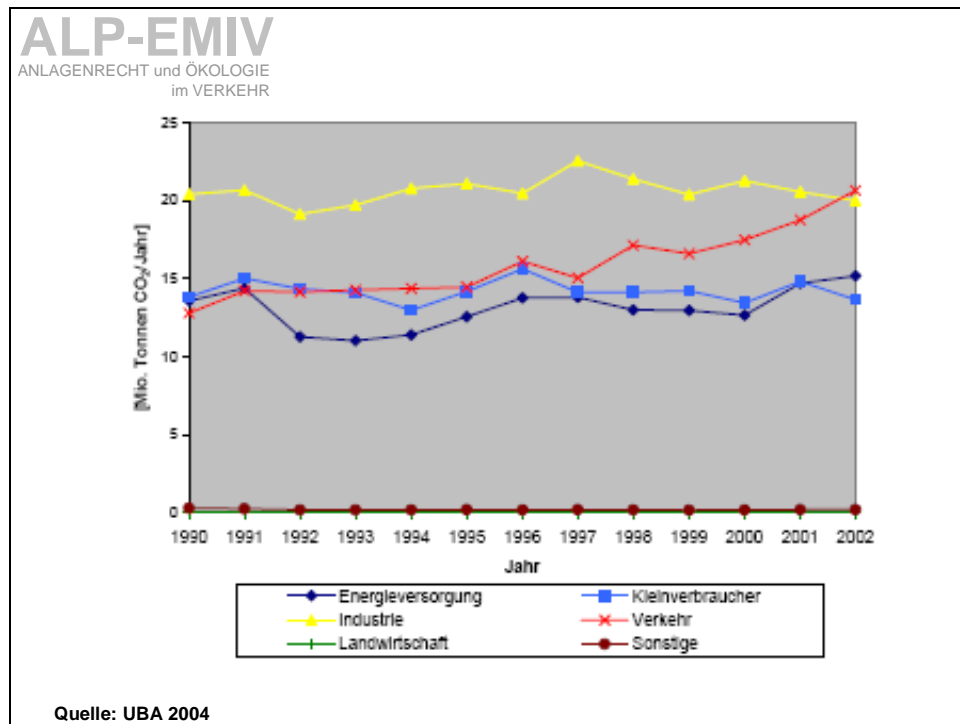


**Abbildung 14: NOx-Trend 1985 bis 2002 nach Sektoren (UBA 2004, Seite 37, Abb. 16)**

#### 5.2.5.2 Treibhausgasemissionen CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> entsteht überwiegend durch Verbrennung fossiler Brennstoffe, wie Erdgas, Erdöl und Kohle. Im Jahr 2002 wurden in Österreich 69,7 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> emittiert und damit 8,8 Mio. Tonnen (+14,4%) mehr als im Kyoto-Basisjahr 1990. Im Gegensatz zu anderen Luftemissionen, bei welchen bei der Emissionsermittlung technologische Aspekte der Verbrennung eine wesentliche Rolle spielen, sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen primär vom Brennstoffeinsatz (Brennstoffart und -menge) abhängig (UBA 2004, Seite 25).

Im Jahr 2002 war der Sektor Verkehr mit 30% bzw. 20,65 Mio. Tonnen (UBA 2004, Seite 112) erstmals der größte Emittent von CO<sub>2</sub> (vgl. Abbildung 15). Der Anteil an den Gesamtemissionen des Sektors Industrie betrug 29%, der des Sektors Energieversorgung 22%, des Sektors Kleinverbraucher 20%. Der Sektor Landwirtschaft ist im Sektor Kleinverbraucher inkludiert.



**Abbildung 15: CO<sub>2</sub>-Trend 1985 bis 2002 nach Sektoren (UBA 2004, Seite 27, Abb. 9)**

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen Österreichs entwickeln sich ungefähr parallel zum Einsatz fossiler Energieträger, da die Verbrennung von Biomasse nicht zu den anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen gerechnet wird. Diese gelten also als „CO<sub>2</sub>-neutral“, da diese Emissionen direkt bei der Waldbestandsänderung eingerechnet werden.

Von den Treibhausgasemissionen stellt CO<sub>2</sub> mit 82% den dominierenden Anteil dar. Allerdings sollten die mengenmäßig zwar deutlich hinter dem CO<sub>2</sub> liegenden Treibhausgasemissionen über das unterschiedliche GWP (global warming potential) Beachtung finden. Laut Definition hat CO<sub>2</sub> ein Treibhauspotenzial von 1, Methan von 21, Lachgas von 310 und die F-Gase ein Treibhauspotenzial von 140 bis 23.900, jeweils bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren. Die F-Gase werden in drei Gruppen eingeteilt: die teilfluorierten Kohlenwasserstoffe (HFKW), die vollfluorierten Kohlenwasserstoffe (FKW) und in Schwefelhexafluorid (SH<sub>6</sub>) (vgl. UBA 2004, Seite 16f).

#### 5.2.5.3 Spezielle Emissionen PAH

Die Emission von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) hat im Zeitraum von 1990 bis 2002 um rund 50% auf rund 8,9 Tonnen abgenommen. Der Sektor Kleinverbraucher ist 2002 mit 76% an den Gesamtemissionen der Hauptemittent von PAH-Emissionen. Der Verkehr hatte 2002 einen Anteil von 15%, die Landwirtschaft einen Anteil von 5% und die Industrie einen Anteil von 4% (vgl. Abbildung 16).

Bei den PAH-Emissionen kann ein verstärkter Einsatz moderner Anlagen mit geringeren spezifischen Emissionen eine weitere deutliche Reduktion der Emissionen bewirken.

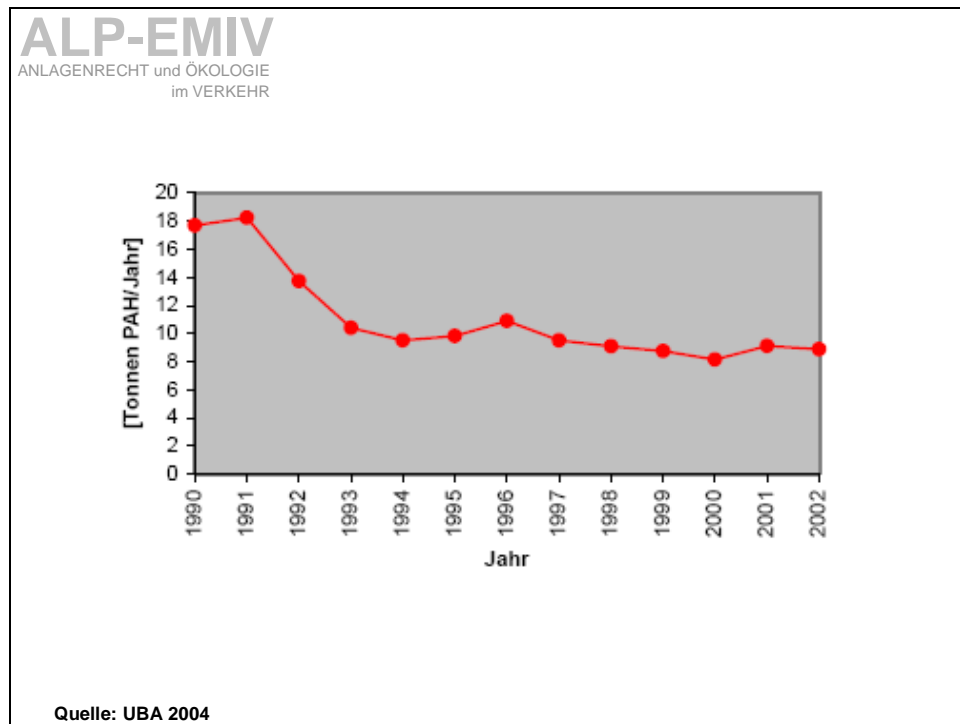


Abbildung 16: PAH-Trend 1990 bis 2002 (UBA 2004, Seite 60, Abb. 38)

#### 5.2.5.4 Staubemissionen (TSP)

Staub zählt zu den klassischen Luftschadstoffen und die Immissionsbelastungen wurden in den Luftmessstationen regelmäßig überwacht. Den Emissionen von Staub wurde allerdings in den 1980er Jahren wenig Beachtung geschenkt. Erst in den 1990er Jahren setzte sich die Erkenntnis durch, dass Staub nach wie vor ein bedeutender Luftschadstoff ist. Entsprechende Hinweise erbrachten epidemiologische Studien, die vor allem in Nordamerika und vereinzelt in Europa vorgenommen wurden (vgl. UBA 2001b zitiert in UBA 2004, Seite 49f).

Staub ist ein komplexes, heterogenes Gemisch aus festen bzw. flüssigen Teilchen, die sich hinsichtlich ihrer Größe, Form und Farbe, chemischen Zusammensetzung, physikalischen Eigenschaften und ihrer Herkunft bzw. Entstehung unterscheiden.

Die atmosphärische Staubbelastung hat verschiedene Quellen. Es kann zwischen primären und sekundären Partikeln unterschieden werden. Primäre Emissionen werden direkt in die Atmosphäre abgegeben, sekundäre entstehen durch luftchemische Prozesse aus gasförmig emittierten Vorläufersubstanzen, wie z.B. Ammoniak, Schwefeldioxid und Stickoxide.)

Bei den Daten in Abbildung 17 (*entnommen aus UBA 2004*) ist einschränkend darauf hinzuweisen, dass die Abschätzungen mit einem Computermodell berechnet wurden und es zu erheblichen Unsicherheiten (insbesondere bei diffusen Quellen) kommen kann. Daraus wird abgeleitet, dass noch weiterer Forschungsbedarf zur Verbesserung der Erfassung der Staub-Emissionen besteht (*UBA 2004, Seite 50f*).

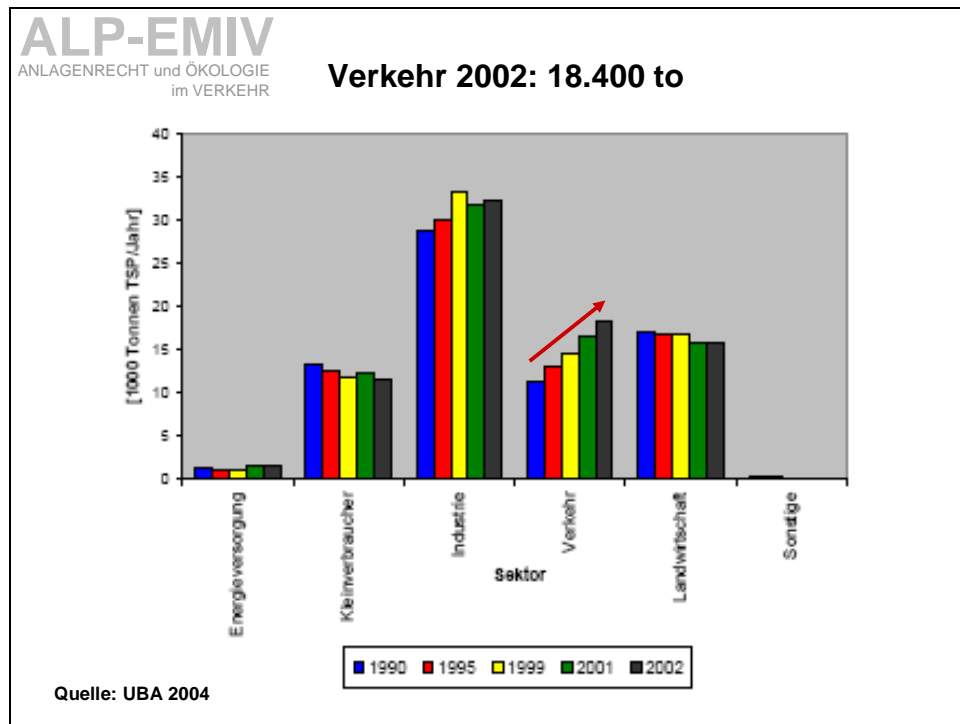
Die Größe der Partikel ist auch aus hygienischer Sicht von großer Bedeutung, da sie die Eindringtiefe in den Atemwegstrakt bestimmt. Die derzeitigen, und dem Bericht des Umweltbundesamtes zugrunde liegenden Messgrößen sind:

- TSP (Total Suspended Particles): Masse des Gesamtstaubes
- PM10: Masse aller Partikel kleiner als 10 µm aerodynamischer Durchmesser
- PM2,5: Masse aller Partikel kleiner als 2,5 µm aerodynamischer Durchmesser

Allerdings werden die Meßmethoden zur Erfassung von kleineren Partikeln ständig verbessert, denn je kleiner die Partikel sind umso größer ist die Eindringtiefe in den Atemwegstrakt und das damit verbundene gesundheitliche Risiko.

Hauptverursacher von TSP war im Jahr 2002 die Industrie mit rund 41%. 23% der Gesamt TSP-Emissionen wurden vom Verkehr erzeugt. Die Landwirtschaft verursachte durch landwirtschaftliche Feldbearbeitung 20% der Emissionen, der Sektor Kleinverbraucher 15% und der Sektor Energieversorgung 2%. Der Sektor Sonstige ist von untergeordneter Bedeutung.

Die Zunahme der TSP-Emissionen seit 1990 beträgt rund 11% auf rund 80.000 Tonnen/Jahr. Der Verkehr ist ein dominierender Faktor: die TSP-Emissionen setzen sich zu etwa zwei Drittel aus Reifen- und Bremsabrieb und etwa zu einem Drittel aus Russpartikeln zusammen. Sowohl bei den Reibungsemissionen, und dort vor allem beim Schwerverkehr, als auch bei den Russemissionen der Dieselfahrzeuge ist ein starker Anstieg zu verzeichnen (vgl. Abbildung 17).



**Abbildung 17: TSP-Emissionen nach Sektoren 1990, 1995, 1999, 2001 und 2002 (UBA 2004, Seite 51, Abb. 30)**

In Tabelle 7 sind

- die aus den Luftschadstofftrends abgeleiteten relevanten Emissionen und
- die Emissionen für die normative Höchstgrenzen festgelegt sind mit wesentlichen Determinanten zur Beurteilung des Einflusses des Sektors Verkehr zusammengefasst.

Bei den Treibhausgasemissionen ist CO<sub>2</sub> dargestellt, eine eventuelle Berücksichtigung von weiteren wirksamen Treibhausgasemissionen wird für das Forschungsprojekt bei Bearbeitung der Umsetzungsstudie noch zu diskutieren sein.



**Tabelle 7: Überblick über die Entwicklungstendenzen von für das Forschungsprojekt relevanten Schadstoffemissionen (Datenquelle: UBA 2004)**

SCHADSTOFF	NORMATIVER RAHMEN	TENDENZ GESAMT	TENDENZ VERKEHR	AUSSTOß GESAMT	AUSSTOß VERKEHR	%-ANTEIL VERKEHR	ZUL. GESAMTMEN-GE	ÜBERSCHREITUNG ABSOLUT	ÜBERSCHREITUNG RELATIV	ANMERKUNG
				in 1000 Tonnen			in 1000 Tonnen		Sp. 8 = 100%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SO <sub>2</sub>	EG-L	↔	↓	35,96	2,26	6,3%	39	-3,04	-7,8%	Normativer Rahmen (NR)
NO <sub>x</sub>	EG-L	↑	↑	204,47	109,45	53,5%	103	101,47	98,5%	NR und Trend
NMV OC	EG-L	↔	↓	192,65	29,63	15,4%	159	33,65	21,2%	NR
CO <sub>2</sub>	Kyoto	↑	↑	69.607	20.650	29,7%	53.000	16.607	31,3%	Trend
NH <sub>3</sub>	EG-L	↓	↔	53	0,33	0,6%	66	-13	-19,7%	NR
PAH		↓	↑	0,00888	0,00133	15%	-	-	-	Trend Verkehr
TSP	nein	↑	↑	79.710	18.240	22,9%	-	-	-	Trend
PM <sub>10</sub>	nein	↑	↑	47.250	9.500	20,1%	-	-	-	Trend
PM <sub>2,5</sub>	nein	↑	↑	26.930	6.480	24,1%	-	-	-	Trend

Legende:

↔ gleich bleibend; ↑ steigend; ↓ fallend

### 5.3 Ökologisch sensible Gebiete im Kontext mit dem Straßengüterverkehr

Wo zwischen „Verkehr“ als infrastrukturbezogene bzw. gebietsbezogene Größe in der Verkehrsplanung und der Ökologie als systematische Ergründung und Erfassung der Beziehungen zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt ein Zusammenhang besteht, lässt sich im Hinblick auf das bearbeitete Thema mit dem neuen Verständnis von Verkehrsökologie<sup>37</sup> nach Hauger (2003, S. 72) zeigen. Aus diesem Verständnis ist ersichtlich, dass die Raumnutzung, die Raumüberwindung und die Raumqualität sich gegenseitig beeinflussen und einen Regelkreis bilden. Die realisierte Verkehrsnachfrage als Komplex Raumüberwindung resultiert aus Raumnutzung und beeinflusst wiederum die Raumnutzung dort, wo sie stattfindet. Außerdem beeinflusst die Raumüberwindung die Raumqualität; diese hat wiederum Auswirkungen auf die Raumnutz – Ziel- und Nutzungskonflikte sind also vorprogrammiert.

Zielkonflikte entstehen, wenn unterschiedliche Zielvorstellungen als Basis zur Realisierung von Nutzungen (z.B. Errichtung einer Erschließungsstraße für den Abbau von Schottervorkommen versus Erholungsgebiet) nicht im Einklang mit übergeordneten normativen Interessen stehen und/oder es zu konkurrenzierenden Ansprüchen an Gebiete kommt.

Alle Arten von Lebewesen, Pflanzen, Tiere und Menschen benötigen ihre Umwelt als Lebensgrundlage; sie nützen und schädigen sie, unter Umständen zerstören sie diese sogar – hier kommt es zu Nutzungskonflikten. Da die Umwelt insgesamt ein „begrenztes Raumschiff“ (vgl. Frewein 2005, Seite 66, Abb. 4.1-1) darstellt, konkurrieren die existierenden Lebewesen um die knappen Nutzungsansprüche. Aus den Ansprüchen und Bedürfnissen der Menschen, die bestimmte Handlungen provozieren lassen sich folgende Fragen ableiten:

- **Welche Ansprüche hat der Mensch an den Alpenraum, aus denen sich Umweltkonsequenzen ergeben können?**
- **Warum realisieren Menschen eine bestimmte Nutzung in einer bestimmten Weise?**
- **Warum versucht der Mensch, die Umwelt in eine bestimmte Richtung zu beeinflussen?**
- **Welche unbeabsichtigten Ursachen von Umweltveränderungen gibt es? (vgl. BMU 2003, S. 10)**

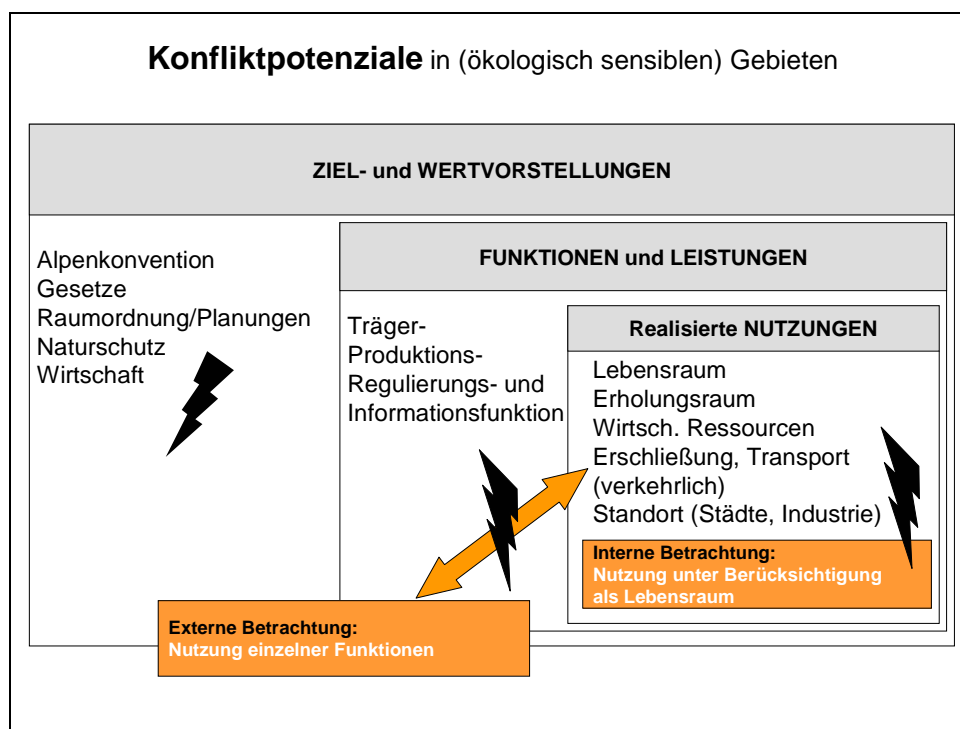
Bezogen auf die Ansprüche der Menschen an den Alpenraum, ist folgende Unterscheidung notwendig: Es gibt Menschen, die im Alpenraum ihren Lebensmit-

---

<sup>37</sup> Definition von Verkehrsökologie nach Hauger: Die Verkehrsökologie beschäftigt sich mit den (zumeist unerwünschten) Auswirkungen der Raumüberwindung auf die natürliche und anthropogene Raumqualität und berücksichtigt dabei normative, ökonomische und ökologische Grenzen. Dazu bedient sie sich im interdisziplinären Diskurs wissenschaftlicher Methoden mit dem Ziel, die in ihren Aufgabenbereich fallenden Wirkungen zu analysieren und zu beschreiben. Wo sie als Hilfswissenschaft für die Verkehrsplanung und Verkehrspolitik eingesetzt wird, soll sie nach Ressourcenschonenden Lösungen suchen, nicht ohne aber die zugrunde liegenden Wertmaßstäbe (normative Ebene) zu verschweigen, sondern im Gegenteil, diese prominent als Ausgangspunkt der Planungen zu deklarieren bzw. gegebenenfalls zu diskutieren.

telpunkt haben und die nahezu Bedarf an allen Funktionen und Leistungen des Ökosystems Alpen haben (vgl. Abbildung 18). Hier wird unterstellt, dass das Interesse vor allem der Erhaltung der Funktionen gilt. Nutzungskonflikte bilden sich hier nicht unbedingt in Form von die Lebensgrundlage bedrohenden Konflikten ab, sondern wird es mehr oder minder zu einem Ausgleich aller Interessen, im Sinne der Ziel- und Wertvorstellungen, kommen. Es kann somit von internen Nutzungskonflikten gesprochen werden.

Der Anspruch von Menschen außerhalb dieser Gebiete ist ein ausgewählter Anspruch, ohne Berücksichtigung von Wirkungs- und Systemzusammenhängen und meistens ohne Interesse, wenn es um die negativen Auswirkungen der ausgewählten Nutzung geht. Für die gegenständliche Problemstellung ist vor allem die Trägerfunktion<sup>38</sup> dieser Gebiete interessant. Die Beanspruchung der im Rahmen dieser Funktion zur Verfügung stehenden Infrastruktur fragt z.B. nicht nach Regulierungs- oder Informationsfunktionen eines Gebietes. Es kann somit von externen Nutzungskonflikten gesprochen werden, bei denen die Betroffenen nicht Verursacher der Schäden sind, aber Lösungsmaßnahmen verlangen (VGL. HAUGER 2003, S. 73).



**Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Zielvorstellungen, Funktionen und realisierten Nutzungen in ökologisch sensiblen Gebieten (Quelle: Frewein 2005, Seite 78, Abbildung 4.3-1)**

<sup>38</sup> Ökosysteme weisen neben der Trägerfunktion, für z.B. für Siedlungen und Städte (Standortgebundene Nutzungen), für die Raumüberwindung (Verkehrsanlagen), für die Kultivierung (z.B. Land- und Forstwirtschaft), für Erholungszwecke, für den Natur- und Landschaftsschutz, für den Schutz von Immissionen und Naturgefahren (Schutzwälder, Überschwemmungsgebiete) auch noch Produktions-, Regulierungs- und Informationsfunktionen auf.

Wenn es gilt, Lösungen für anstehende Nutzungskonflikte zu erarbeiten, sind vor allem die von den (un)beabsichtigten Umweltfolgen betroffenen Bereiche von Interesse. Welche Eigenschaft und/oder Nutzung weist gegenüber einer anderen Nutzung eine Empfindlichkeit auf? Wie stark ist diese Nutzung für die Umweltfolgen verantwortlich, oder gibt es bereits Vorbelastungen aus anderen Quellen?

Das Emissionsbasierte Lenkungsinstrument Alp-EmiV ist demnach nicht als Maßnahme zur Symptombekämpfung, im Verständnis der „klassischen Schulmedizin“, oder der linear-technokratischen Sichtweise als „end of pipe“-Lösung, als Antwort auf die Fragen, wie mehr, schneller und günstiger transportiert werden kann, zu sehen. Vielmehr sollen die wesentlichen Systemzusammenhänge zwischen Straßengüterverkehr und ökologisch sensiblen Gebieten erkannt, dargelegt und letztendlich im Sinne der Definition von Verkehrsökologie als Beitrag für eine Ressourcen schonende Lösung zur Steuerung von Straßengüterverkehr auf Basis von Schadstoff-Emissionskontingentierung verwendet werden. Die Umweltproblematik kann nicht mit linearen Modellen erfasst werden, sondern mit ihren dynamischen rückgekoppelten Prozessen bedarf es der Beschreibung von Systemaspekten, wie z.B. klimatischen Bedingungen, erneuerbaren und nicht erneuerbaren Ressourcen, Umweltbelastungen durch Schadstoffe.

#### 5.4 Leitindikatoren für das Forschungsprojekt

Aus der Analyse der Entwicklungstrends bei den Schadstoffemissionen in Österreich haben sich bezogen auf den Verkehr folgende Schadstoffe als kritisch erwiesen:

- NO<sub>x</sub> mit einem Anteil von 54%,
- TSP mit einem Anteil von 15%,
- CO<sub>2</sub> mit einem Anteil von 30% und daran gekoppelt der fossile Energieverbrauch und
- die HC-Komponente PAH mit einem Anteil von 15%.

Werden nun die für das Forschungsprojekt relevanten Schadstoffe ausgewählt, ist in Bezug zu den normativen Festlegungen zu beachten, dass sowohl Emissions- als auch Immissionsgrenzwerte vorliegen. Das Ziel beim „Emissionsgesteuerten Verkehr“ muss sein, dass die Grenzwerte eingehalten werden können. Die Zusammenhänge zwischen den Emissionen und den Immissionen müssen problemadäquat abgebildet werden (vgl. z.B. Thudium et al. 2001).

Der Fokus wird im gegenständlichen Projekt auf die Schadstoffe CO<sub>2</sub> als global wirksamen Schadstoff und auf das NO<sub>x</sub> als lokal wirksamen Schadstoff gelegt. Zusätzlich wird, der aktuellen Diskussion entsprechend, der Feinstaub (TSP) mitbetrachtet. Eine Ausweitung bzw. Reduzierung der zu betrachtenden Schadstoffe muss im Rahmen einer Umsetzungsstudie erfolgen, da dann die praktische

Relevanz und die gegenseitige Beeinflussung der Reduktion der einzelnen Schadstoffe überprüft werden kann.

Nachfolgend ist zu klären, aus welchem Blickwinkel zu diesen Schadstoffen ein Cap ableitbar ist, wobei in diesem Projekt die Begriffe Grenzwert und Cap unterschieden werden müssen. Als Grenzwert werden die normativ festgeschriebenen Werte bezeichnet. Es handelt sich dabei größtenteils um Schadstoffkonzentrationen, welche an den Messstationen nicht überschritten werden dürfen. Als Cap wird die Obergrenze an Emissionsmengen bezeichnet, welche in Summe nicht überschritten werden darf.

## **5.5 Grenzwertbildung für den Emissionsrechtehandel**

### **5.5.1 Notwendigkeiten für die Capermittlung**

Die Festlegung von Caps und ihre Begründung ist eine Schlüsselfrage des gegenständlichen Projektes. Es ist eine wissenschaftliche Begründung zu erbringen, die die Belange und Notwendigkeiten des heutigen Systems (Stichwort der Nachhaltigkeit) widerspiegelt. Die zu bearbeitenden Aspekte (Gesellschaftsbereiche) sind:

- die Politik,
- die Ökonomie,
- die Ökologie,
- das Soziale und
- das Recht.

Eine Diskussion der Caps aus Sicht der jeweiligen Aspekte ist nach Möglichkeit innerhalb des Projektes anzustreben. Dadurch kann von der vielfach üblichen eindimensionalen bzw. auf einen einzigen Bereich zentrierten Sicht abgewichen werden und der fachlich übergreifende Ansatz in diesem Forschungsprojekt zusätzlich betont werden. Die Mindestanforderung wird allerdings sein, die Schnittstellen zwischen den einzelnen Bereichen aufzuzeigen und zu dokumentieren. Dabei muss klar festgestellt werden, dass nicht alles im Detail gelöst werden kann. Vor allem der Bereich des Sozialen kann vom Projektteam nicht abgedeckt werden. Die Interessen der einzelnen Gesellschaftsbereiche laufen zumeist deutlich auseinander, konkurrenzieren sich teilweise sogar.

### **5.5.2 Cap und Abhängigkeiten zu den Grenzwerten**

Letztlich wird die Grenze der Schadstoffemissionen und/oder –immissionen über die Gesundheitsschäden definiert, orientieren sich doch die derzeitigen Grenzwerte bereits an den Schutzgütern Mensch und Ökosystem. Auf dieser Basis kann auch aus Sicht der Ökologie ein Cap an erlaubten Emissionsmengen bestimmt werden, bei dem es zu keiner Überschreitung der gesetzlich verordneten Grenzwerte kommt. Die Gebietsbelastbarkeit steht aus ökologischer Sicht im Vordergrund.

Aus Sicht der Ökonomie steht die Frage der Verkehrsnotwendigkeit im Vordergrund. Es werden also nicht die gesetzlich verordneten Grenzwerte für die entsprechenden Schadstoffe der Maßstab sein, sondern die aus wirtschaftlicher Sicht erforderlichen Fahrten in den Mittelpunkt rücken. Für die Betrachtungen des Bereiches der Ökonomie ist auch darauf zu achten, dass viele Teilnehmer (die einzelnen Frächter) unterschiedliche Ansichten vertreten werden.

Im Bereich der Politik werden zwar Grenzwerte am Maßstab des Ökosystems verordnet, allerdings bleiben bei Überschreitungen der Grenzwerte Konsequenzen aus, die dafür sorgen würden, dass die Einhaltung der Grenzwerte gewährleistet wird (vgl. FG Alp-EmiV 2005, S. 78f).

Im Bereich des Sozialen ist auf die Abhängigkeiten zu den Bereichen der Ökonomie und der Ökologie zu verweisen. Die Arbeitsplatzsituation als wirtschaftliche Grundlage ist ökonomielastig, der Anspruch nach einer lebenswerten Umwelt ist ökologielastig. Diese in einen tragbaren Ausgleich zu bringen, ist Aufgabe eines ausgefeilten Bewertungssystems für die Schadstoffe und deren unterschiedlichen Grenzen.

Einen Grenzwert in Form einer wissenschaftlich begründbaren Zahl zu ermitteln wird sehr wahrscheinlich nur im Bereich der Ökologie möglich sein. Die Bearbeitung dieses Problempunktes findet bereits statt, erste Ergebnisse für das NO<sub>x</sub> – als Leitsubstanz der Luftverschmutzung – zeigen, dass für ein ausgewähltes alpines Planungsgebiet enormer Einsparungsbedarf an NO<sub>x</sub>-Emissionen besteht, um die NO<sub>2</sub>-Grenzwerte einzuhalten (vgl. Frewein 2005, S. 206f). Die Ausweitung der Abschätzungen auf die für das Projekt relevanten Schadstoffe muss noch erfolgen.

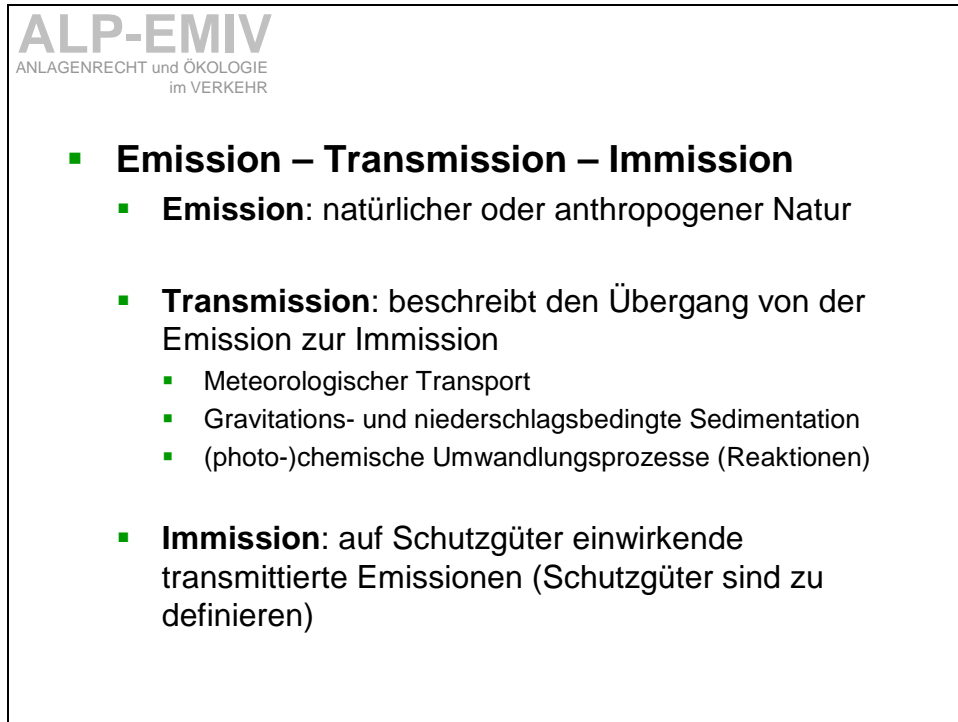
### 5.5.3 Verhältnis von Immission zu Emission

Die Emissionen anthropogenen Ursprungs breiten sich aus, nach dem sie emittiert wurden. Diese Ausbreitung bis hin zum Ort der Einwirkung wird Transmission genannt. Die Transmission ist jegliche Form des Transportes von Emissionen in der Umwelt. Dabei können chemische oder physikalische Umwandlungen innerhalb der beteiligten Umweltmedien stattfinden. Es wird unterschieden zwischen

- Meteorologischem Transport: Ausbreitung durch Wind, vertikaler Austausch durch Thermik,
- Gravitations- und niederschlagsbedingter Sedimentation: Absetzung, Auswaschung, Absorption und
- (photo)chemischen Umwandlungsprozessen (Reaktionen).

Immissionen sind dann die auf Schutzgüter einwirkenden transmittierten Emissionen. Schutzgüter sind z.B. der Mensch, der Tier- und Pflanzenbestand sowie Kultur- und Sachgüter. Je nach Schadstoffkategorie und/oder Fragestellung gibt

es normativ festgelegte Emissions- bzw. Immissionsgrenzwerte. Im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen heute die Einwirkungen auf die menschliche Gesundheit.



**Abbildung 19: Überblick über den Zusammenhang von Emission - Transmission und Immission**

#### 5.5.3.1 Leitsubstanz der Luftverschmutzung

Soll nun aus den für das Forschungsprojekt als relevant geltenden Luftschadstoffen eine Leitsubstanz der Luftverschmutzung abgeleitet werden sind Überlegungen zu den Emissionsbedingungen und den Umwandlungsreaktionen von wesentlichen Luftschadstoffen anzustellen. Es zeigt sich, dass NO<sub>x</sub> bei den Wirkungen als auch bei den Emissionsmengen als wesentlich einzustufen ist.

Das Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) als gesundheitsschädlicher Schadstoff wird jedoch erst aus den Stickoxid-Emissionen, die fast nur als NO erfolgen, gebildet. Das NO reagiert in der Atmosphäre mit Ozon zu NO<sub>2</sub>. Diese Reaktion ist viel effektiver als alle anderen NO<sub>2</sub>-bildenden Prozesse, die nur einen kleinen Anteil an der NO<sub>2</sub>-Bildung ausmachen. Auf der anderen Seite gilt es zu bedenken, dass Ozon in bodennahen Inversionsschichten „Mangelware“ darstellt. Es wird im Winter dort kaum gebildet und kann nur von oben her eingetragen werden. Inversionsschichten sind aber von beiden Seiten her nur schwer durchdringbar. So ist Ozon oft limitierender Faktor für die NO<sub>2</sub>-Bildung bei „unlimitiertem“ NO-Angebot. Der Anteil von NO<sub>2</sub> am Gesamtstickoxid NO<sub>x</sub> hängt daher stark von den meteorologischen Bedingungen ab (*Thudium et al. 2002b, Seite 3*).

### 5.5.3.2 Immissionswirksamkeit von Emissionen

Aus umfangreichen Datenanalysen und Berechnungen war es Thudium (2001a) nun auch möglich mittlere Tagesgänge der Verhältnisse von Immission zu Emission zu bilden (Thudium 2001a, Seite 46ff). Die NO<sub>x</sub>-Immission ist nicht proportional zur Emission. Es spielen die Lage relativ zur Autobahn als Emittent, die topografischen Verhältnisse sowie die meteorologischen Ausbreitungsbedingungen, welche vor allem durch Wind und die Temperaturschichtung der unteren Atmosphäre bestimmt werden eine beeinflussende Rolle. Das Verhältnis der Immission zur Emission ist ein Maß zur Beschreibung all dieser Rahmenbedingungen, die bei einer bestimmten Menge emittiertes NO<sub>x</sub> zu ganz unterschiedlichen Einträgen führen können (Thudium 2001a, Seite 38).

Thudium stellt fest, dass alle Kurven einen ausgeprägten Tagesgang mit hohen I/E-Verhältnissen in der Nacht und niedrigen um die Mittagszeit zeigen. Außerdem ist die Saisonalität deutlich erkennbar. Die Unterscheidung der einzelnen Saisonen (diese ergeben sich aus den unterschiedlichen meteorologischen Verhältnissen) ist in Abbildung 20 ersichtlich. Die Winterkurven verlaufen durchwegs höher als jene im Sommer. Die Kurve der Zwischensaison deckt sich um die Mittagszeit mit der Kurve des Sommers, am Morgen und am späten Abend liegt sie über der Sommer-Kurve.

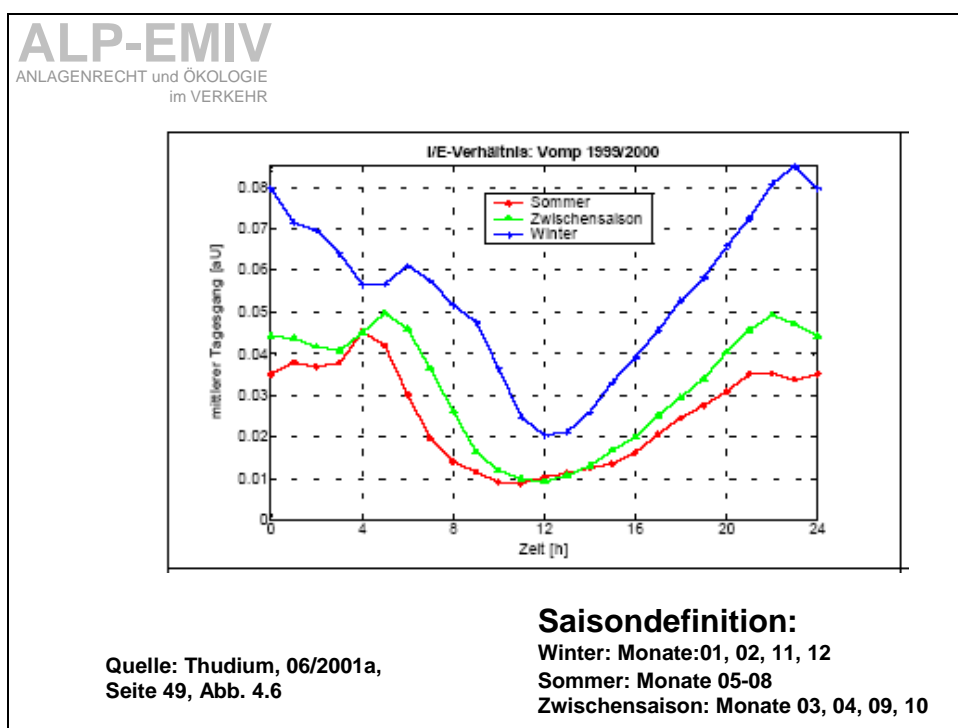


Abbildung 20: Mittlerer saisonaler Tagesgang des I/E-Verhältnisses an der Station Vomp 1999/2000 (Thudium 2001a, Seite 49 Abb. 4.6 tlw.)

Diese Tagesgänge wurden für 7 verschiedene Messstationen ermittelt. Es wurden jeweils einige Stunden am Mittag, wenn die Werte sehr tief sind, sowie Wer-



te in der zweiten Nachhälfte, wenn sie sehr hoch sind gemittelt und für die Stationen gegenübergestellt. Zur direkten Vergleichbarkeit der Wirksamkeit wurde der sommerliche Nachmittagswert auf 1 normiert, sodass man die Werte zu anderen Tages- und Jahreszeiten direkt den Optimalbedingungen gegenüberstellen kann.

#### 5.5.4 Schlussfolgerungen für das Forschungsprojekt

Auf Auswirkungen der Emissionen respektive der Immissionen auf die Fauna wird derzeit im Planungsprozess nicht besonders Rücksicht genommen. Durch die Betrachtung der Immissionswirksamkeit der Emissionen und daraus ableitbaren Verkehrsbelastungen zur Einhaltung diverser Schadstoff-Grenzwerte können die Einwirkungen der Schadstoffemissionen auf das, an die Emittenten benachbarte Ökosystem, in die Planung von Verkehrslenkungsmaßnahmen einbezogen werden.

Verkehrlich bedingte Emissionen spielen bei der Luftreinhaltung wie gezeigt wurde teilweise sehr dominante Rolle. In den normativen Festlegungen der IG-Luft wird auf verkehrlich bedingte Emissionen in einem Paragraphen eingegangen, nämlich im §22:

Zur Reduktion der verkehrsbedingten Emissionen, die zur Überschreitung eines in den Anlagen 1 und 2 oder in einer Verordnung nach §3 Abs. 3 festgelegten Immissionsgrenzwertes beitragen, können von der Bundesregierung verkehrsspezifische Maßnahmen vorgesehen werden. Als geeignete Maßnahmen kommen insbesondere in Betracht:

- 1) *Verbesserung oder Neuerrichtung der Verkehrsinfrastruktur (z.B. kombinierter Verkehr, integrierte Verkehrsachsen),*
- 2) *ökologische Optimierung der Verkehrsabläufe,*
- 3) *Reduktion der Transporterfordernisse durch Maßnahmen die die Notwendigkeit für Ortswechsel und insbesondere die zur Erfüllung des Wegezweckes zurückgelegten Wegstrecken reduzieren.*

Außerdem gelten nach §2 Abs. (10) Verkehrswege nicht als Anlage im Sinne des Bundesgesetzes (IG-L). Es gilt nun im Forschungsprojekt die rechtlichen Grundlagen dafür zu schaffen, dass Verkehrswege auch als Anlagen betrachtet werden können und eine ökologische Optimierung des Verkehrsablaufes mit Hilfe des Emissionsrechtshandels möglich wird.

Als dominante Schadstoffemissionen zeichnen sich das NO<sub>x</sub> und das CO<sub>2</sub> ab, für die sowohl aus der Trendbetrachtung als auch aus Sicht der normativen Festlegungen Bedarf zur Verminderung bzw. Verhinderung besteht (vgl. Tabelle 8). Auch das NMVOC als normativ beschränkt zulässige Emission ist wie das PAH eine nicht zu vernachlässigende Emission des Sektors Verkehr. Der Schwebestaub (TSP) zeigt nach den Trendbetrachtungen ebenfalls eine Relevanz, allerdings ist hier die eingeschränkte Verfügbarkeit der Daten zu beachten.

**Tabelle 8: Für das Forschungsprojekt relevante verkehrlich bedingte Schadstoffemissionen unterteilt nach Relevanz durch normative Festlegungen und Trendentwicklung.**

SCHADSTOFF	RELEVANZ WEGEN NORMATIVER FESTLE- GUNGEN (ÜBER- SCHREITUNG DER EG- L, KYOTO FESTLEGUN- GEN)	RELEVANZ WEGEN DEM ENTWICKLUNGS- TREND IM SEKTOR VERKEHR UND DEM ANTEIL AN DEN GE- SAMTEMISSIONEN
Stickstoffoxid (NO <sub>x</sub> )	<b>X</b>	<b>X</b>
Flüchtige organische Verbindungen ohne Me- than (NMVOC)	X	
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	<b>X</b>	<b>X</b>
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe PAH		X
Schwebestaub TSP		X

Es wird in der Fortsetzungsstudie zu klären und zu diskutieren sein, welche Schadstoffemissionen effizient in einen Emissionsrechtehandel im Verkehr integriert werden können und sich auch dafür in der praktischen Abwicklung eignen.